

集団スポーツの練習と個人スポーツの練習との両方向性転移について

乾 信 之

(キーワード：個人間運動，個人運動，両方向性転移，相補的力発揮)

I 緒 言

スポーツや楽器の演奏において分習法と全習法のどちらの練習が有効かという問題は20世紀初頭から個人の運動スキル学習の分野で論議されている (Barton, 1921; Brown, 1928)。Schmidt (1991) は運動スキルの構成要素間の相互作用の程度と分習法の効果の関係に気づき、分習法の効果はスキルの要素間の相互作用が増加するにつれて減少すると指摘している。運動スキルの練習の一般的原理として、スキルの構成要素が独立しているスキルはその要素を別々に練習できるが、スキルの要素の依存性が高いスキルはその要素をひとまとまりに練習した方が効率的であると言われている (Holding, 1965; Newell and Emmerik, 1989)。個人の運動スキルの構成要素の関係が個人間協調運動の個人間の関係に拡張できるなら、個人運動と個人間運動間の両方向性転移が独立性の高い個人間スキルに観察されるかもしれない。対照的に、両者間の両方向性転移は互いに依存性が高い個人間スキルに見られないと予測される。

サッカーやバスケットのような集団スポーツにおいて、個人間で共通の目標を達成するために、自分の運動と他者の運動を相互作用させなければならない。このような「自分自身と他者が共有する運動目標を達成するために相互作用する協調動作」をジョイント・アクション (Sebanz et al., 2006) と呼び、個人間動作の相互作用が研究されている (Bosga and Meulenbroek, 2007; Newman-Norlund et al., 2008)。

たとえば、Masumoto and Inui (2013) は2人が同時に力発揮し、その総和を目標の peak force と valley force に対して周期的に一致させる課題を行った。その結果、力の総和の視覚情報を提示した時だけ、両者の力発揮は強い負の相関関係になり、両者の力発揮のタイミングも同期した。さらに驚いたことに、力の総和の視覚情報を提示した時、2人の力発揮は1人の力発揮より力と運動間隔の変動が小さくなった。このように、両者の相補的力発揮とその同期は相乗効果をもたらし、ジョイント課題の力とタイミングの制御を促進した。

さらに Masumoto and Inui (2014) はジョイント課題から個人課題への転移を検討するために、2人が同時に力発揮し、その総和を分離的に一致させる課題を行った。この研究ではジョイント課題の練習前後に個人課題のプリテストとポストテストを行い、ジョイント課題の練習が個人課題に学習転移するかどうかを検討した。その結果、ジョイント課題は練習の進行に伴って、力の変動が減少し、2人の力発揮の相関関係は負の方向に促進され、ジョイント課題の学習効果が観察された。その結果、個人課題のポストテストはプレテストより力の変動が小さくなったが、その有意差はなく、ジョイント課題から個人課題への学習転移は観察されなかった。

2人が相互作用するジョイント・アクションはどのように情報処理されているのだろうか。Keller et al. (2007), Loehr and Palmer (2011), Novembre et al. (2013) は、二重奏を演奏する2人のピアニストが共有するトーンやメロディーの表象を見出した。さらに、Loehr et al. (2013) は二重奏を演奏するピアニストには2つのエラーがあることに気づいた。一つは各ピアニストの演奏の目標に関係しているが、2人の演奏に関係していないエラーである。もう一つは両方に関係しているエラーである。そして、Loehr et al. (2013) は二重奏を演奏するピアニストが生じる2種類のエラーから、彼らが共有する目標を表象していることを示唆した。

したがって、本研究は Masumoto and Inui (2014) と同一の運動課題を用い、ジョイント条件と個人条件との学習転移に与える共有する運動目標の表象の影響を検討した。ジョイント条件の練習が個人条件のパフォーマンスに与える影響を検討するために、個人条件-ジョイント条件-個人条件の順に行う III 課題を検討した。個人条件の練習がジョイント条件に与える影響を検討するために、ジョイント条件-個人条件-ジョイント条件の順に行う IJJ 課題を検討した。

Ⅱ 方 法

1) 参加者

参加者は右利きの20名の健康な男子大学生（平均値21.2, 標準偏差1.3歳）である。利き手は **Edinburgh handedness inventory** (Oldfield, 1971) によって検査され、右利きの参加者の一側優位性 (**laterality**) の得点は平均して+98.3 (標準偏差4.1) であった。すべての参加者から実験に関するインフォームド・コンセントを得た。

2) 実験手続き

本研究は個人条件とジョイント条件を含む2つの運動課題からなる (図1)。1つは個人条件-ジョイント条件-個人条件の順に行う **IJI** 課題である。もう1つはジョイント条件-個人条件-ジョイント条件の順に行う **JIJ** 課題である。**IJI** 課題はジョイント条件の練習が個人条件のパフォーマンスに与える影響を検討するために、最初にプリテストとして50回の力発揮で構成された個人条件を行い、次に練習ブロックとして1ブロック50回の力発揮で構成されたジョイント条件を10回行い、最後にポストテストとして50回の力発揮で構成された個人条件を行った。一方、**JIJ** 課題は個人条件の練習がジョイント条件に与える影響を検討するために、最初にプリテストのジョイント条件を行い、次に10ブロックに亘って個人条件を練習し、最後にポストテストのジョイント条件を行った。交互作用を避けるために、5組の参加者は先に **IJI** 課題から行い、残りの5組は **JIJ** 課題から開始した。

個人条件は1人の参加者が右手の示指で分離的な等尺性力発揮を行い、10%MVCの目標値に一致させた。参加者は図2Aに示した実験設定の半分を使い、机上有るロードセルに向かい椅座位をとり、右手を机から6cmの指示台の上に置いた。その体勢から参加者は右示指の先端掌側部をロードセルにつけたままで、分離的な等尺性力発揮を行った (図2B)。この条件ではモニター上に水平線で示した目標値と自分自身の力発揮を提示し、目標値と自分の力発揮との差異を視覚化した。

ジョイント条件は2人一組で遂行され、2人の10%MVCを合計した目標値と2人の力発揮の総和がモニター上に提示され、各参加者の力発揮は提示しなかった。2人の参加者は机を挟んで対面し、机上有るロードセルに向かい椅座位をとり、それぞれ右手を机上の指示台の上に置いた (図2A)。その体勢から2人の参加者は、右示指の先端掌側部をロードセルにつけたままで、分離的な等尺性力発揮を行い (図2B)、2人の参加者は力発揮の総和を目標値に一致させた (図2B)。2人の参加者の間にモニターがあり、相手の表情や示指の状態を観察することはできず、いかなる言語的コミュニケーションもとらないように教示した。

実験に先立ち、すべての参加者は最初に最大随意収縮 (MVC) を決定するために、机上有るロードセルに向かい椅座位をとり、それぞれ右手を机上の指示台の上に置いた (図2A)。その体勢から参加者は右示指の先端掌側部をロードセルにつけたままで、3秒間の等尺性力発揮を右示指で最大努力を伴って3回計測し、その平均値から MVC を算出した (平均値39.3N, 標準偏差7.3N)。

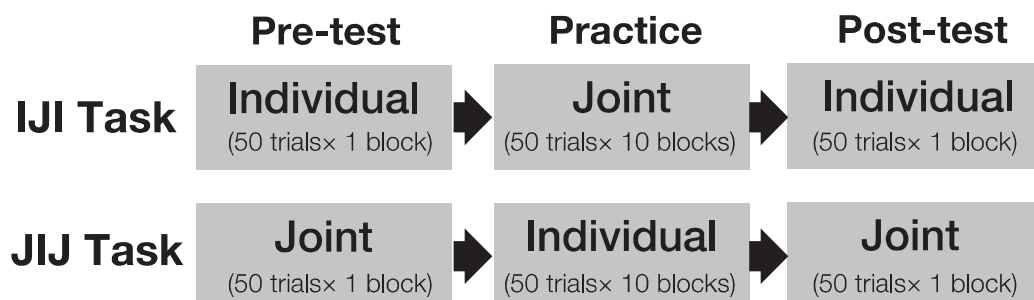


Figure 1 Experimental procedure. To examine the effects of practice under the joint condition on performance in the individual condition, participants performed a pre-test (individual condition), practice blocks (joint condition), and a post-test (individual condition) (IJI task). To examine the effects of practice under the individual condition on performance in the joint condition, the participants performed a pre-test (joint condition), practice blocks (individual condition), and a post-test (joint condition) (JIJ task). Whereas the individual condition was performed by one participant, the joint condition was performed by two participants. Each peak force comes from a single trial, and each block thus consists of 50 peak forces. In both tasks, the pre-test and post-test consisted of fifty trials (one block). The practice block consisted of ten blocks, with fifty trials in each block.

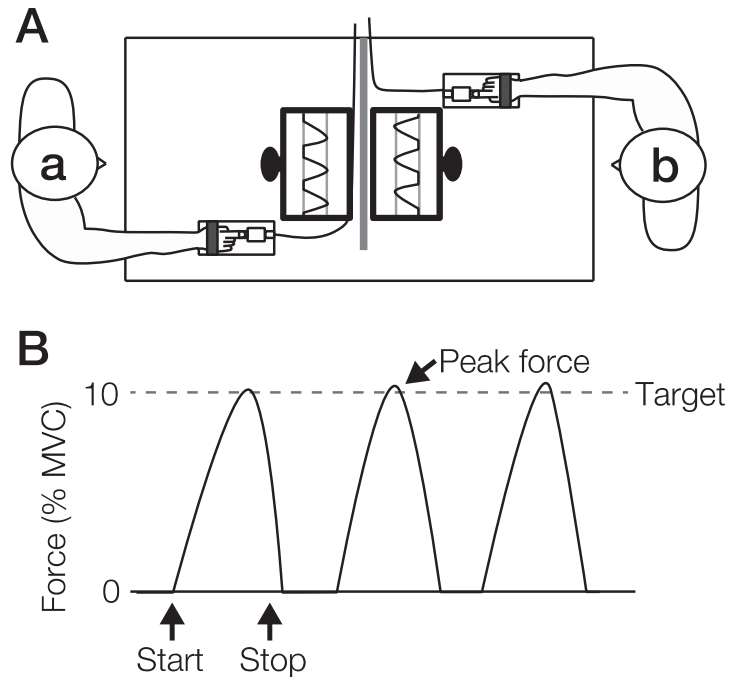


Figure 2 Experimental setup and dependent variable. **A**: the individual condition is performed by one participant using half the setup shown in the drawing, and the joint condition is performed by two participants using the setup shown in the drawing. **B**: definition and measurement of the dependent variable. MVC: maximum voluntary contraction.

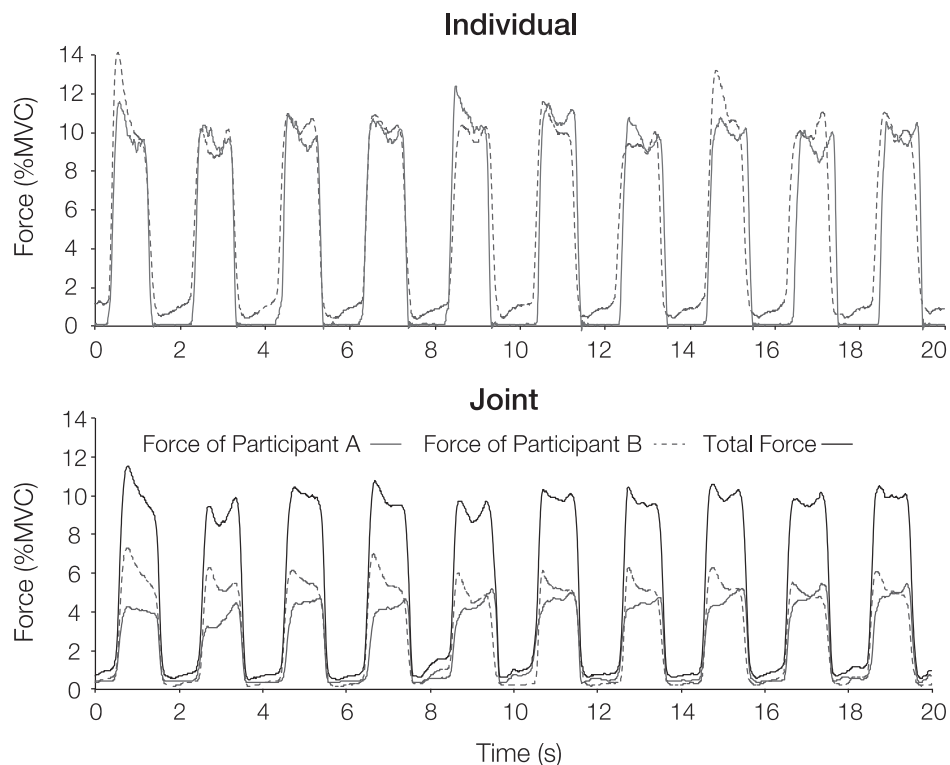


Figure 3 Example data showing the individual (top) and joint (bottom) conditions. In the top panel, the grey solid line represents the force produced by participant A, and the grey dashed line represents the force produced by participant B. While each participant solely produces the force in the individual condition, the target force and the force produced by the participant are presented on a monitor. In the bottom panel, the black line represents the total force, i.e., the sum of the forces produced by both participants. The grey solid or dashed line represents the force produced by participant A or B. While both the participants simultaneously produce forces in the joint condition, this condition displays the target force for the pair and the sum of the forces produced by each participant on a monitor, but not the force output produced by each participant separately.

3) 装置と測定

実験には2つのロードセルを用いて、周期的な等尺性力発揮がロードセルからの出力電圧として測定された。ロードセルの出力は増幅器 (Model MCC-8A Koyowa) によって増幅された後に、100Hz以上の周波数を切り捨て、16ビットのA/D変換器 (PowerLab/8sp, AD Instruments) によって、1000Hzの周波数でサンプリングしてデジタル化された。その出力信号はパーソナル・コンピュータ (Vostro200, Dell) のモニター (解像度: 1280×960ピクセル) に掃引して記録された (図3)。その記録された出力信号から、力の総和における peak force と力発揮の開始時間がエミール・ソフト開発製 (徳島) の力量解析ソフトによって自動的に計測された (図2B)。

4) データ分析

一試行に一つの peak force が含まれ、各ブロックは50 peak force よりなる。プリテスト、練習ブロック、ポストテストの力発揮の正確性を検討するために、絶対誤差が50 peak force から計算された。力発揮の変動性を検討するために、peak force の標準偏差も算出された。2人によって発揮された peak force の相補性を検討するために、2人によって発揮された peak force の相関係数を算出した。

5) 統計的分析

第一に、力発揮の相補性を分析するために、相関係数を Fisher の z 変換により標準化し、相関係数の平均値を求めた。IJI 課題の練習ブロックにおける相関関係の主効果を検討するために、一要因の分散分析が行われた。第二に、peak force の正確性と変動性を分析する時、peak force の絶対誤差と標準偏差の主効果を検討するために、2 (条件: IJI と JIJ) × 10 (ブロック) の分散分析が行われた。第3に、各課題の peak force の絶対誤差と標準偏差のプリテストとポストテストの有意差を検討するために、t 検定が行われた。また、JIJ 課題の相関係数 (Fisher の z) のプリテストとポストテストの有意差を検討するために、t 検定が行われた。

Ⅲ 結 果

IJI 課題と JIJ 課題共に、ポストテストの力の絶対誤差と標準偏差はプレテストのそれより小さく、ジョイント条件の練習は個人条件の力の誤差と変動を改善し、個人条件の練習はジョイント条件の力の誤差と変動を改善した。相関係数を検討すると、IJI 課題ではジョイント条件の練習の進行に伴って負の相関が強まり、個人条件のポストテストとプレテストにおける力の誤差と変動は有意差を示したが、JIJ 課題では個人条件の練習の進行に伴う力の誤差と変動の減少はジョイント課題のポストテストとプレテストの相関係数の有意差をもたらさなかった。

力の絶対誤差 (AE)

力の正確さを検討するために、図4Aには両課題における練習とテストの力の絶対誤差を示した。分散分析の結果、課題間とブロック間で有意差がみられなかった。しかし、両条件共にポストテストはプレテストより力の絶対誤差が小さかった (IJI 課題, $t(19)=4.05, P<0.005$; JIJ 課題, $t(9)=3.47, P<0.01$)。ジョイント条件の練習は個人条件の力の正確性を改善し、個人条件の練習はジョイント条件の力の正確性を改善させた。したがって、力の正確性に関して、ジョイント条件と個人条件の両方向性転移が観察された。さらに、t 検定の P 値から、力の正確性の転移はジョイント条件から個人条件の方が個人条件からジョイント条件より強かった。

力の標準偏差 (SD)

力の変動を検討するために、図4Bには両課題における練習とテストの力の標準偏差を示した。分散分析の結果、ブロック間 ($F(9, 280)=4.83, p<0.001$) に有意差がみられたが、課題間に有意差がみられなかった。課題とブロックの交互作用もみられなかった。多重比較の結果、両課題において、第1ブロックでは他のブロックより力の標準偏差が大きく ($p<0.05$)、練習初期に力制御は改善された。両課題共にポストテストはプレテストより力の標準偏差が小さく (IJI 課題, $t(19)=3.50, P<0.005$; JIJ 課題, $t(9)=3.14, P<0.05$)、ジョイント課題の練習は個人課題の力の変動を改善し、個人課題の練習はジョイント課題のそれを改善した。したがって、力の変動に関して、個人課題とジョイント課題は両方向性転移が観察された。さらに力の正確性と同様に、t 検

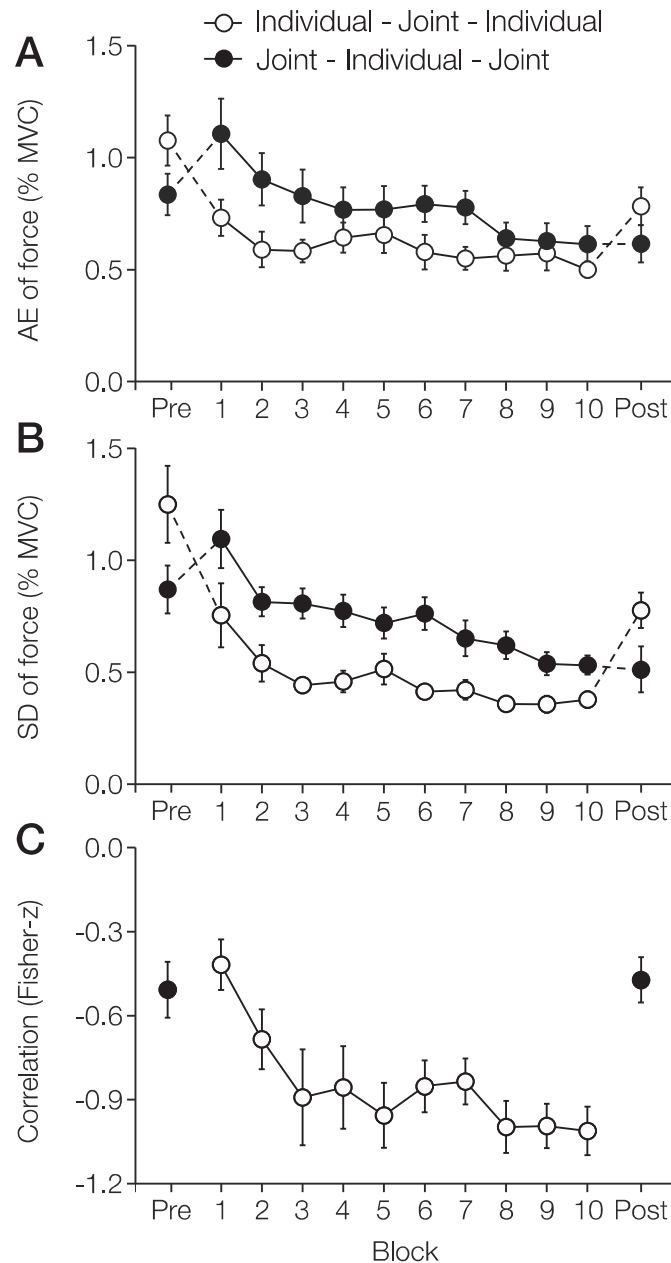


Figure 4 Absolute errors (AEs) and standard deviations (SDs) of peak force, and the correlation coefficients between forces produced by two participants in both the IJI and JIJ tasks. **A**: AEs of peak force in both tasks. **B**: SDs of peak force in both tasks. **C**: correlation coefficients in both tasks.

定の P 値から、力の変動性の転移はジョイント条件から個人条件の方が個人条件からジョイント条件より強かった。

相関係数

学習転移に与える 2 人の相補的力発揮の影響を検討するために、図 4 C には IJI 課題の練習ブロックと JIJ 課題のプリテストとポストテストにおける 2 人の力の相関係数を示した。IJI 課題の練習ブロックを一要因の分散分析した結果、第 8–10 ブロックは第 1 ブロックより負の相関係数が強く ($F(9, 90) = 2.21, p < 0.05$)、練習の進行に伴って両者の相補的力発揮は促進された。このような力発揮の相補性に関する練習効果は IJI 課題のプリテストとポストテストの力の絶対誤差と標準偏差の有意差をもたらした。しかし、2 人によって発揮された力の相関は JIJ 課題のプリテストとポストテストとの間に有意差がなく、個人条件の力の誤差と変動の減少はジョイント条件の力発揮の相補性を促進しなかった。

IV 考 察

III 課題と JII 課題共に、力の誤差と変動は練習初期に減少し、ポストテストがプレテストより小さく、力の正確性と変動性に関して両方向性転移が観察された。2 人が発揮した力の相関係数を検討すると、III 課題ではジョイント条件の練習により、個人条件のポストテストの力の誤差と変動がプレテストのそれより小さかった。しかし、JII 課題では個人条件の練習に伴う力の誤差と変動の減少はジョイント条件のポストテストとプレテストの相関係数の有意差をもたらさなかった。さらに、力の正確性と変動性に関する学習転移はジョイント条件から個人条件への転移がその逆方向より強かった。追従課題を用いた最近の研究 (Takagi et al., 2017) によると、参加者がヒトまたはロボットと相互作用するジョイント練習は参加者が単独で練習する場合より高いパフォーマンスを示した。したがって、本研究の結果と Takagi et al. (2017) の結果は軌を一にしている。

Masumoto and Inui (2014) は本研究と同一の課題を用いて、ジョイント条件の練習が個人条件に学習転移するかどうかを検討した。その結果、力の変動誤差はポストテストがプレテストより小さかったが、有意ではなかった。本研究では力の絶対誤差と標準偏差に関してジョイント条件から個人条件への学習転移が観察され、Masumoto and Inui (2014) の先行研究の結果と一致しなかった。その原因として、先行研究 (Masumoto and Inui, 2014) では実験参加者 6 組のデータのみであったが、本研究は 10 組のデータであり、先行研究よりも例数が多く、プレテストとポストテストの間に明確な差異が観察された。したがって、本研究の新たな結果として、ジョイント条件の練習は課題のパフォーマンスを改善し、本研究は個人課題とジョイント条件の両方向性転移を観察した。

2 人が発揮した力の相関係数を検討すると、III 条件ではジョイント条件の練習の進行に伴って負の相関が強まり (図 4 C), 相補的力発揮が促進され、同時に力の絶対誤差と標準偏差も減少した (図 4 A)。したがって、個人条件のポストテストはプレテストより力の変動が小さく、ジョイント条件の練習は個人条件の練習に正の転移をもたらした。しかし、JII 条件では個人条件の練習の進行に伴う力の誤差と変動の減少は相関係数の有意差を生じなかった。したがって、個人条件の練習はジョイント条件の力の変動に正の転移をもたらしたが、ジョイント条件の相補的力発揮を促進しなかった。つまり、ジョイント条件の相補的力発揮はジョイント条件の練習でしか促進されなかった。このことは本研究の重要な新知見であり、2 人の相互作用から成り立っているジョイント条件は 2 人の相互作用を学習しなければ、学習が促進されないことを示している。

このようなジョイント・アクションはどのように情報処理されているだろうか。Loehr and Vesper (2016) はピアノ演奏の学習転移を工夫した実験からこの問題を検討した。最初、2 人のピアノの初心者は二重奏を演奏するために伴奏者と簡単なメロディーを練習した。次に、その初心者は練習したメロディーを 2 つのフィードバックを伴って演奏した。一つは各自が演奏するメロディーを聴いて演奏し、もう一つは 2 人が共有する二重奏のメロディーを聴いて演奏した。彼らは後者より前者を聴いた時エラーが多く、彼らは二重奏を練習した時に共有する表象を形成したと考えられる。さらに、Masumoto and Inui (2013, 2014, 2015) は 2 人が同時に力発揮し、その総和を目標の peak force と valley force に対して周期的に一致させる課題を行った。その結果、力の総和の視覚情報を提示した時だけ、両者の力発揮は強い負の相関関係になり、両者の力発揮のタイミングも同期した。2 人によって発揮された力の総和を見ることは力の誤差補正に必須であり、このことは 2 人が共有する運動目標の表象の存在を示唆している。本研究における相補的力発揮の指標は 2 人によって発揮された力の負の相関関係であり、この相関関係は 2 人が共有する表象の存在を示唆している。したがって、2 人による練習はジョイント・アクションの相補的力発揮の促進に必須であり、個人条件における力の変動の減少はジョイント条件の相補的力発揮を促進できなかった。

さらに、本研究の結果はスポーツの練習における全習法と分習法の関係に多くの示唆を与える。Schmidt (1991) は運動学習における全習法と分習法をどのように使い分ければよいかを以下のように指摘している。スポーツの中の動作を要素に分析し、その要素間の相互作用の度合を同定する。換言すれば、スポーツの中の動作から、系列的動作とかプログラムされた動作とそうでない動作を選別していく。そうすることによって、その動作の練習が全習法で行われるべきか、分習法で行われるべきか決定されていく。Schmidt (1991) は個人動作の要素間の相互作用に注目し、要素間の相互作用の強い系列動作は分習法より全習法が適していることを指摘している。さらに、本研究では個人の運動スキルの構成要素の関係が個人間協調運動の個人間の関係に拡張され、ジョイント・アクションにおける 2 人の相互作用を練習するためには 2 人の練習が必須であることを示した。たとえば、柔道や剣道の対人競技、ボールゲームの連携プレーは個人で練習しても効果を望めず、2 人またはそれ以

上の人数で練習しなければ、その効果が上がらないと考えられる。

謝辞：この研究は日本学術振興会から学術研究助成基金助成金（16K01598）の支援を受けたものである。

利益相反：著者はこの研究に関して利益相反がない。

引用文献

- Barton JW (1921) Smaller versus larger units in learning the maze. *J Exp Psychol* 4 : 414–424
- Bosga J, Meulenbroek RG (2007) Joint-action coordination of redundant force contributions in a virtual lifting task. *Mot Control* 11 : 235–258
- Brown RW (1928) A comparison of the whole, part, and combination methods for learning piano music. *J Exp Psychol* 11 : 235–247
- Keller PE, Knoblich G, Repp BH (2007) Pianists duet better when they play with themselves: on the possible role of action simulation in synchronization. *Conscious Cogn* 16 : 102–111
- Holding DH (1965) *The principles of training*. Oxford: Pergamon Press
- Loehr JD, Kourtis D, Vesper C, Sebanz N, Knoblich G (2013) Monitoring individual and joint action outcomes in duet music performance. *J Cogn Neurosci* 25 : 1049–1061
- Loehr JD, Palmer C (2011) Temporal coordination between performing musicians. *Quart J Exp Psychol* 64 : 2153–2167
- Loehr DJ, Vesper C (2016) The sound of you and me: novices represent shared goals in joint action. *Quart J Exp Psychol* 69 : 536–547
- Masumoto J, Inui N (2013) Two heads are better than one: both complementary and synchronous strategies facilitate joint action. *J Neurophysiol* 109 : 1307–1314
- Masumoto J, Inui N (2014) A leader-follower relationship in joint action on a discrete force production task. *Exp Brain Res* : 232 : 3525–3533
- Masumoto J, Inui N (2015) Motor control hierarchy in joint action that involves bimanual force production. *J Neurophysiol* 113 : 3736–3743
- Newell KM, van Emmerik REA (1989) The acquisition of coordination: preliminary analysis of learning to write. *Hum Mov Sci* 8 : 17–32
- Newman-Norlund RD, Bosga J, Meulenbroek RG, Bekkering H (2008) Anatomical substrates of cooperative joint-action in a continuous motor task: virtual lifting and balancing. *Neuroimage* 41 : 169–177
- Novembre GLF, Schutz-Bosbach TS, Keller PE (2013) Motor simulation and the coordination of self and other in real-time joint action. *Soc Cogn Affect Neurosci* 9 : 1062–1068
- Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9 : 97–113
- Schmidt RC (1991) *Motor learning and performance: from principle to practice*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp. 188–191
- Sebanz N, Bekkering H, Knoblich G (2006) Joint action: bodies and minds moving together. *Trends Cogn Sci* 10 : 70–76
- Takagi A, Ganesh G, Yoshioka T, Kawato M, Burdet E (2017) Physically interacting individuals estimate the partner's goal to enhance their movements. *Nature Hum Behav* : 1, 0054

Bidirectional transfer between joint and individual actions in a task of discrete force production

INUI Nobuyuki

(Keywords: joint action, solo action, learning transfer, complementary force production)

The present study examined bidirectional learning transfer between joint and individual actions involving discrete isometric force production with the right index finger. To examine the effects of practice of joint action on performance of the individual action, participants performed a pre-test (individual condition), practice blocks (joint condition), and a post-test (individual condition) (IJI task). To examine the effects of practice of the individual action on performance during the joint action, the participants performed a pre-test (joint condition), practice blocks (individual condition), and a post-test (joint condition) (JII task). Whereas one participant made pressing movements with a target peak force of 10% maximum voluntary contraction (MVC) in the individual condition, two participants produced the target force of the sum of 10% MVC produced by each of them in the joint condition. In both the IJI and JII tasks, absolute errors and standard deviations of peak force were smaller post-test than pre-test, indicating bidirectional transfer between individual and joint conditions for force accuracy and variability. Although the negative correlation between forces produced by two participants (complementary force production) became stronger with practice blocks in the IJI task, there was no difference between the pre- and post-tests for the negative correlation in the JII task. In the JII task, the decrease in force error and variability during the individual action did not facilitate complementary force production during the joint action. This indicates that practice performed by two people is essential for complementary force production in joint action.